急速凝固線材の新製造技術

十代田 哲 夫¹⁾ 岡 本 昭 二²⁾

1. ま え が き

溶湯から直接薄帯、細線等を製造する急速凝固技術の採用により、製造にかかわるエネルギーコストの大幅な削減が可能と考えられる。例えば細線の場合、現行の工程ではインゴットを熱間圧延し、さらに冷間伸線と焼鈍を繰り返して所定の線径に仕上げており、最終線径の細いものほど製造工程は長くなる。一方急速凝固技術を用いると、線径が100 μm 程度の細線を溶湯から直接製造できるため、大幅な工程省略が可能である。従って、細線等の分野においては急速凝固法による製造技術が今後大きく発展する可能性を秘めていると考えられる。また、非常に早い凝固、冷却速度が得られるため、アモルファス等非平衡相の製造も可能である。特にアモルファス合金は、強度が高く耐食性に優れ、なおかつ軟磁性材料としても優れた特性を示すことから特に注目されており、その製造技術という点からも急速凝固技術の今後の発展が期待できる。

線材の急速凝固法としては、一定形状の線材を安定して製造するという点から回転液中紡糸法⁽¹⁾が最も優れていると考えられる。この方法はバッチ式の製造技術として開発されたが、工業化を考える場合には生産性等から連続式の回転液中紡糸装置の開発が望まれる。そのため、連続化に関するいくつかのアイデア⁽²⁾がこれまで提案されてきたが、当社においても精力的に研究を進めた結果、従来とは異なった考え方に基づいた方法で連続化を可能にした装置を開発し、安定した製造技術を確立することに成功した⁽³⁾。

2. 新装置の基本概念

従来の回転液中紡糸装置においては、高速回転するドラム内面の冷却水にノズルから溶湯ジェットを吹き込み、凝固した線材をドラム回転を停止した後装置外に取り出している。それ故、この方法においてはバッチ操業

とならざるをえなかった。この方法を連続化するためには、凝固した線材を冷却ドラムの回転を止めずに連続的に取り出す必要がある。このような線材の連続取り出しを行うことができれば工程省略による操業時間の短縮が可能になるほか、線材形状のオンライン検査およびそのフィードバックによる制御にもつながり、大きなメリットが期待できる。

ところで、回転液中紡糸法においては安定した冷却水層を形成し、溶湯ジェットに余計な力を加えずに凝固させることが重要である。特に溶湯ジェットが水中に入って凝固し、ドラム内面に着地するまでの長さは危険長さと呼ばれ⁽⁴⁾、この間では特に安定状態を保つ必要がある。従って線材の取り出しはこの範囲外でおこなうことが好ましい。危険長さは冷却水層深さやドラム回転数、溶湯ジェット速度などの製造条件によって変化するが、ほぼ円周の1/3と考えて検討を行った。つまり、冷却水に溶湯が進入する位置から1/3回転(120度)までは従来の回転液中紡糸法と同一の構造として凝固した線材をドラム底面に着地させ、残りの2/3回転(240度)の部分でドラム外に取り出すこととした。また取り出し時には線材に無理な力を加えることなく自然に取り出せるように、以下のような機構を考案して確実な取り出しを可能にすることを試みた。つまり、回転ドラムをドラムの軸に直角に2分割し、両者の間隔を一定に保ってスリットを形成させ、線材に働いている遠心力によって線材をスリットからドラム外に放出する構造を考案し、検討した。図1にはその基本構造を示した。ただし、冷却水層の安定化のためにはスリットからの冷却水の放出をできるだけ抑制する必要がある。また、特に危険長さの範囲における水面の安定性を確保するためには、少なくとも

図1 連続式回転液中紡糸装置概念図。

* (株)神戸製鋼所鉄鋼技術研究所

1)主任研究員 2)研究員

Newly Developed Continuous Type INROWASP Equipment; T. Soshiroda, S. Okamoto (Kobe Steel, Ltd.)

1990年1月31日受理

この範囲における水の放出を防止する必要があると考えられる。そこで、ドラム円周にそって形成されたスリットにベルトをかけまわしてふさぎ、線材の取り出しに必要な部分のみを開口することとした。

以上の検討に基づき、2分割ドラムおよびその間に形成されるスリット、スリットをふさぐためのベルトおよび線材取り出し用の開口部から構成される装置の開発を行った。

3. 装置の開発

(1) 基本構成

図2にドラムおよびその周辺部の基本構成図を示す。ドラムはステンレス製とし、外径を550 mmとした。また、2つのドラムの回転が完全に同期しないと水面が不安定になるため、ドラムの駆動源は1つとし、片側のドラム(以後駆動ドラムと呼ぶ)に回転軸を取り付けてモータで回転させ、その回転をガイドローラを介して他のドラム(以後自由ドラムと呼ぶ)に伝達する方法を採用した。また、スリットの幅は2つのドラムの間隔で決まるが、この値は常に一定に保持する必要がある。この間隔の保持も上述のガイドローラによって行った。ガイドローラは図中に示したように3個用い、自由ドラムはこの3個のガイドローラで支えられている形となる。

図2 連続式回転液中紡糸装置基本設計図。

(2) 取出装置

(i) 取出位置

線材の取り出しは先に述べたように、2つのドラム間のスリットから行うが、このスリットはベルトによってほとんどの部分がシールされており、取り出しに必要な部分のみが開口部として残されている。そこでまず、開口部の位置の検討を行った。2章で述べたように溶湯の侵入位置から1/3回転(120度)は取り出しに使えないため、それ以降の2/3回転(240度)の間で取り出さなくてはならない。本装置では溶湯ジェットの冷却水への侵入角度を60度とし、侵入位置は、ドラムの底面を時計の文字盤に見立てて5時の位置(図2a点)とした。従って

取り出し可能な位置は、9時の位置から時計回りで5時の位置まで(同図b~a)となる。この装置においては、線材に働く遠心力によって自然放出を行わせる機構を採用しているために、線材はその取り出し位置から接線方向に冷却水と共に放出される。従って上述の範囲のうち9時から12時までの位置(同図b~c)で取り出す場合には線材が本装置の上に放りあげられたような状態となり、取り出し後の巻取りまでのガイドが困難になる。それに対し、12時から5時までの位置(同図c~a)で取り出すとその問題は回避でき、また同時に放出される冷却水の回収も容易である。さらに取出した線材の巻取り装置の配置を考慮すると、12時から2時の間(同図c~d)が取り出し位置として最も好ましい。

(ii) 取出部ガイド

図3には開口部周辺の機構を図示したが、ベルトとプーリのみでは無駄な開口部ができることがわかる。例えば、開口部から放出された線材は、接線方向へ飛行し、そのまま巻取り装置へ案内されなければならないが、ドラム外周において、そこからひいた接線が後部プーリに重なる位置(図3a~bの位置)では放出された線材が後部プーリに当たるため、線材に外力を与えずに取り出すことができない。そこで、この無駄な開口部をシールするためにガイドを取り付けた。またこのガイドは開口部のシールを目的として用いたものであるが、放出された線材の後部プーリへの巻き付き防止およびその他装置部分への付着巻き付きを防止する、いわゆる“ガイド”としての役割も兼ね備えているため、ここではガイドと呼んでいる。

(3) 冷却水面の安定性確保

スリットに設けた開口部からは線材と共に冷却水も放出される。従ってドラム内の冷却水量を確保するためには、水の補給が必要となる。また長時間にわたって紡糸するためには冷却水の入替えによる水温(5℃以下)の維持が必要であり、そのためにも水の補給システムは必要である。この場合、冷却水を静かに投入して水面の安

図3 開口部周辺機構。

定性を確保する必要がある。冷却水の投入方法にはいくつかの方法が考えられるが、本装置では、駆動ドラム内側の壁面に衝突させてドラム内に投入する方法を用いた。壁面に衝突した冷却水はドラム壁面にそって広がって薄い膜状になり、さらに壁面との摩擦力によってしだいに加速されて冷却水層に侵入する。つまり侵入時には冷却水層との速度差が非常に小さくなっており、なおかつ広く分散した状態であるために水面の安定性に与える影響は十分小さく抑えることができた。

このように、本装置においては冷却水の放出と補給が行われるため、冷却水水面位置の制御が必要となる。特に紡糸中には、紡糸ノズル先端と水面との距離を一定に保つ必要があり、その距離は3~5 mm にすることが好ましく、少なくとも ± 1 mm の精度で水面位置を制御する必要がある。そのためには冷却水表面の位置の精度よい計測が必要であり、超音波による距離計測手法を採用した。本装置で採用した測定器では、回転しているドラム内の水面位置を、0.1 mm の分解能で読み取ることができた。この測定値の変化に応じて給水量を変化させて水面位置を一定に保つわけであるが、水面位置は比較的安定しており、変動速度も非常に小さかったため本装置では手動による調整を行った。もちろんこの装置を操業に用いるときには制御を自動化することも可能である。

4. アモルファス細線紡糸実験

本設備を用いて紡糸の可否および操業安定性の確認を行った。図4には設備の外観を示す。本実験ではCo-Cr-Si-B合金を用い、アモルファス線の紡糸を行った。実験条件は表1に示したとおりである。その結果、本装置において安定した紡糸が可能であることが確認できた。以上の結果から、本装置がアモルファス細線等の製造装置として使用可能であることを明らかにできた。

5. む す び

回転ドラムを2分割し、ドラム間のスリットから細線を放出する方式による連続式回転液中紡糸装置の開発

図4 連続式紡糸装置外観。

表1 紡糸実験の条件。

溶 解 量	100 g
溶 解 雰 囲 気	Ar
ノ ズ ル 材 質	SiO ₂
ノ ズ ル 穴 径	120 μ m
噴 出 圧 力	3.5 atm
ドラム回転数	390 rpm

を行い、その性能の確認を行った。その結果、本装置によって安定した連続紡糸が可能であり、アモルファス細線等の製造用として使用できることが明らかにできた。

文 献

- (1) 大中逸雄ほか：日本金属学会誌，45(1981)，751.
- (2) 萩尾道明：塑性と加工，31, No. 349 (1990-2)，132.
- (3) 公開特許，昭61-253148.
- (4) I. Ohnaka: Int. Rapid Solidification, 1(1984-85)，219.